



Brussels Studies

La revue scientifique pour les recherches sur Bruxelles
/ Het wetenschappelijk tijdschrift voor onderzoek over
Brussel / The Journal of Research on Brussels
Collection générale | 2017

Cartographies des champs d'interaction dans et autour de Bruxelles : navettes, déménagements et appels téléphoniques

*Cartografie van de interactiegebieden in en rond Brussel: pendelverkeer,
verhuizingen en telefoongesprekken*

*Cartography of interaction fields in and around Brussels: commuting, moves and
telephone calls*

Arnaud Adam, Jean-Charles Delvenne et Isabelle Thomas



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/brussels/1592>

DOI : 10.4000/brussels.1592

ISSN : 2031-0293

Éditeur

Université Saint-Louis Bruxelles

Référence électronique

Arnaud Adam, Jean-Charles Delvenne et Isabelle Thomas, « Cartographies des champs d'interaction dans et autour de Bruxelles : navettes, déménagements et appels téléphoniques », *Brussels Studies* [En ligne], Collection générale, n° 118, mis en ligne le 18 décembre 2017, consulté le 10 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/brussels/1592> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/brussels.1592>

Ce document a été généré automatiquement le 10 décembre 2020.



Licence CC BY

Cartographies des champs d'interaction dans et autour de Bruxelles : navettes, déménagements et appels téléphoniques

Cartografie van de interactiegebieden in en rond Brussel: pendelverkeer, verhuizingen en telefoongesprekken

Cartography of interaction fields in and around Brussels: commuting, moves and telephone calls

Arnaud Adam, Jean-Charles Delvenne et Isabelle Thomas

NOTE DE L'AUTEUR

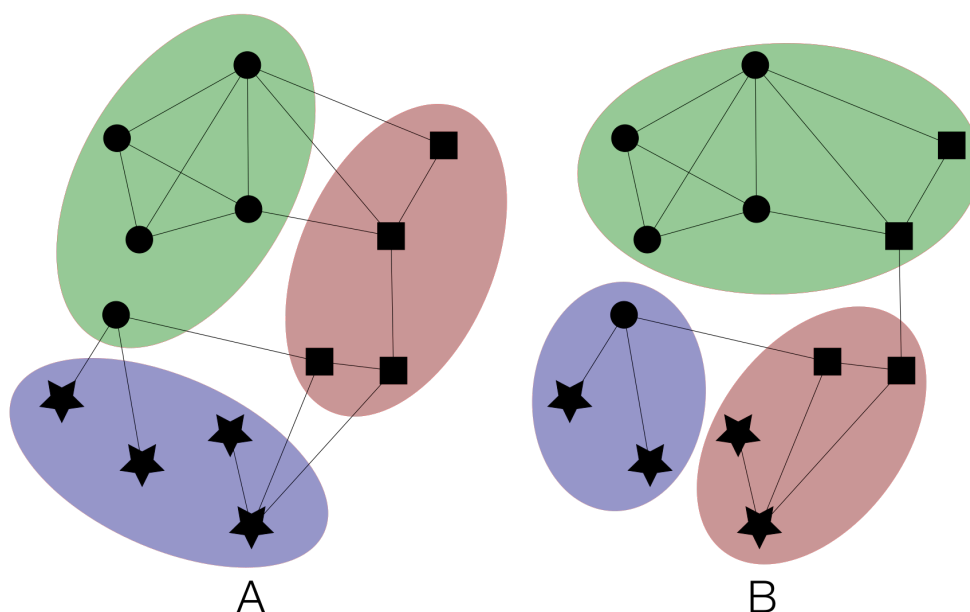
Cet article a été écrit dans le cadre du projet de recherches Bru-net financé par Innoviris. Les auteurs tiennent également à remercier l'opérateur téléphonique de l'excellente collaboration pour l'élaboration de la banque de données téléphoniques et qui a marqué son accord pour cette publication.

Introduction

Administrativement et politiquement, Bruxelles est souvent entendue comme la Région de Bruxelles-Capitale (RBC), mais on sait que la ville s'étale sur un espace beaucoup plus vaste dont les frontières ne sont pas officiellement et scientifiquement arrêtées [voir par exemple Van Hecke, *et al.* 2007 ; Dujardin *et al.*, 2007 ; Thomas *et al.*, 2012 ; Boussauw *et al.*, 2012 ; Vandermotten, 2016]. Les critères et méthodes utilisés pour définir l'aire

métropolitaine bruxelloise sont nombreux et variés, basés sur une ou plusieurs variables socio-économiques et/ou morphologiques, et sur des méthodes essentiellement liées à des seuils de valeurs des variables utilisées [voir Dujardin *et al.*, 2007 ou Thomas *et al.*, 2012]. Nous proposons ici de comprendre l'espace dans et autour de la RBC à l'aide non pas de variables X_i caractérisant les lieux i , mais à l'aide des interactions w_{ij} entre géolocalisations i et j au sein de réseaux (figure 1).

Figure 1. Représentation schématique de la détection de groupes dans un réseau sur base (A) de leurs similarités et (B) des interactions



Economistes et géographes convergent : les villes sont caractérisées par une forte densité de population, de bâti et de fonctions urbaines par rapport à leur environnement. Par voie de conséquence, les agents (firmes et ménages) sont proches et interagissent [voir Anas *et al.*, 1998 ; Fujita et Thisse, 2013, p. 187 et suivantes]. Les villes concentrent une grande diversité d'agents, et ces agents interagissent à l'intérieur de réseaux économiques et sociaux. La proximité joue un rôle important dans la formation des liens socio-économiques et humains entre agents [voir par exemple Ioannides, 2012] et conduit ainsi à des « champs d'interaction » [Fujita et Thisse, 2013]. Délimiter les aires urbaines et définir leur composition n'est pas un sujet nouveau en analyse urbaine, mais il n'existe aucun consensus quant aux méthodes utilisées et aux résultats obtenus [Duranton, 2015 ; Dujardin *et al.*, 2007]. Avec l'avènement des *big data* et des *Data Sciences*, de nouvelles méthodes ont été développées entre autre en matière de « détection de communautés », une communauté se définissant comme un groupe d'individus (personnes, firmes,...) interagissant fortement entre eux. Si ces individus sont géolocalisés, la projection de la communauté dans l'espace s'apparente aux « champs d'interaction » susmentionnés. Malgré leurs limites, ces nouvelles méthodes et données se sont déjà avérées être des outils performants pour l'analyse, la visualisation et la planification urbaines [voir par exemple Sagl *et al.*, 2014 ; Hao *et al.*, 2015].

A l'aide de données issues du dernier recensement (changements résidentiels, navettes de travail) et des relations téléphoniques, cet article vise à montrer quels lieux sont fortement liés dans et autour de Bruxelles et de cartographier ainsi les « bassins

d'interaction » à l'aide d'une méthode de détection de communautés (la Méthode de Louvain – voir section 2). L'article suggère des aires (bassins) sur base de données relationnelles (w_{ij}), et offre un complément aux dynamiques territoriales traditionnelles souvent basées sur les ressemblances entre les caractéristiques X_i des lieux [Van Hamme *et al.*, 2016]. Quelles sont les forces et les faiblesses de ces nouvelles approches pour une analyse urbaine ? Les bassins sont-ils composés de lieux contigus ? Est-ce que les interactions entre personnes ou lieux dans et autour de Bruxelles sont influencées par les limites politiques (régionales, linguistiques), physiques (telles le Canal ou la Forêt de Soignes), et/ou par d'autres types de barrières [Dobruszkes et Vandermorten, 2006] ? Est-ce que la forme de ces « bassins » dépend fortement des données utilisées ?

1. Données

1.1. Bases de données

De façon très classique, nous avons d'abord utilisé les déplacements domicile-travail (*navettes*) et les migrations résidentielles (*déménagements*) mesurées lors du dernier recensement (2011 - Census11), avec tous les avantages et les inconvénients que présente un recensement [Thomas *et al.*, 2009]. Ces matrices OD sont disponibles tous les 10 ans depuis 1981, et présentent l'avantage de correspondre à des définitions claires et stables dans le temps, même si leur construction n'est depuis 2011 plus basée sur l'enquête de recensement mais sur des fichiers administratifs existant par ailleurs. On s'attend donc à définir des ensembles de lieux formant respectivement des *bassins d'emploi* (navettes de travail) et des *bassins migratoires* (déménagements), avec certes des niveaux d'incertitude liés aux définitions du lieu de travail (problème de localisation au siège social à la place du lieu effectif de travail, lieux de travail multiples ou non fixes, non prise en compte de certaines catégories de travailleurs tels les fonctionnaires internationaux, etc.) [voir par exemple Verhetsel *et al.*, 2009] ou du lieu de résidence (résidence déclarée et non effective, déménagements multiples au cours d'une année, etc.) [voir Eggerickx *et al.*, 2012].

Aujourd'hui, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) permettent de collecter de plus en plus d'informations en temps réel, proposant ainsi un complément utile au recensement [Debusschere *et al.*, 2017]. Nous ployons sous les données, mais contrairement à d'autres parties du monde [voir par ex. Liu *et al.*, 2015], les autorités publiques et privées belges restent frileuses quant à les rendre accessibles, ce qui est d'autant plus vrai lorsque les informations sont géocodées. Nous utilisons ici les *données téléphoniques* d'un grand opérateur pour la période d'avril/mai 2015. Il s'agit de tous les appels de téléphonie mobile entre deux numéros de l'opérateur, appels géocodés à l'échelle des antennes, au moment de l'appel ; seuls les appels ayant au minimum une antenne dans l'ancienne Province de Brabant ont été retenus, soit plus de 13 millions d'appels pour la période de la collecte. Pour rappel, l'article de Blondel *et al.* (2010) concernait toute la Belgique, les appels étaient localisés au lieu de facturation et étaient géocodés à l'échelle de la commune. Ici, nous disposons de l'information au niveau de l'*antenne*, au moment de l'appel et donc aux lieux où se trouvent l'appelant et l'appelé. Ici aussi, les données ont leurs limites [Debusschere *et al.*, 2017] et dans le cas qui nous préoccupe, seuls un opérateur téléphonique et un mois d'observations ont été

pris en compte ; la nature (professionnelle ou privée), la durée et l'objet de l'appel ne sont pas connus, et les appels avec le reste de la Belgique/du monde ne sont pas pris en compte dans l'analyse. Malgré ces limites, 13,4 millions de communications sont considérées dans l'analyse. L'objectif est de définir des *bassins téléphoniques* et donc de mesurer une forme (parmi d'autres) de relations sociales de jour et de nuit dans et autour de Bruxelles.

1.2. Choix géographiques

Définir les *limites d'un milieu d'études* et son partitionnement est souvent une tâche délicate, d'autant qu'il s'agit d'une ville pour laquelle il n'existe pas de consensus quant aux limites exactes et qu'elle s'étale sur trois Régions (Bruxelles-Capitale, Région flamande et Région wallonne). Afin d'éviter toute discussion, l'ancienne *Province de Brabant* constitue le milieu d'études choisi ici. Cette entité a été créée en 1815 et est aujourd'hui scindée en trois : la Région de Bruxelles-Capitale (1,2 Mio d'habitants), la Province du Brabant flamand au Nord (1,1 Mio d'habitants) et celle du Brabant wallon au Sud (0,4 Mio d'habitants)(Annexe). La Province de Brabant englobe la plupart de l'agglomération urbaine bruxelloise [voir Thomas *et al.*, 2012 pour une synthèse] mais aussi Leuven dont la position dans l'aire métropolitaine est discutée et discutable.

Si les cartes proposées ici constituent un *zoom* sur le Brabant, les analyses ont été effectuées sur l'ensemble de la Belgique pour les migrations et navettes, ce qui permet d'éviter des effets de bord dans un pays au maillage urbain dense, sans modifier l'allure générale des partitionnements (tests faits sur le Brabant sans relation avec le reste du pays, mais non illustrés ici – voir aussi Thomas *et al.*, 2017). Comme mentionné au point 1.1., il n'en va pas de même pour les appels téléphoniques où seuls les appels dont au moins une antenne est localisée en Brabant sont retenus.

Les illustrations proposées sont dressées principalement à l'échelle des 111 *communes* de l'ancienne Province de Brabant afin de pouvoir comparer les résultats entre eux. Ce choix est justifié par le fait que la commune est la plus fine géolocalisation obtenue pour les déménagements et donc le plus petit commun dénominateur des trois analyses. Les plus petites unités spatiales pour les navettes sont les secteurs statistiques (au nombre de 3 395), et pour les téléphones il s'agit des 1 168 antennes autour desquelles des polygones de Thiessen¹ ont été dessinés afin de passer du point (antenne) à la surface théorique couverte par ces antennes. Ces polygones ne sont toutefois qu'une approximation théorique de la réalité car (1) ils ne tiennent pas compte de la réalité du terrain (bâtiments réduisant la portée, puissance de réception des antennes,..) et (2) ne se chevauchent jamais alors que dans la réalité deux antennes voisines peuvent couvrir une zone commune (intersection de deux sphères) [Zandbergen, 2009].

2. Méthode

Issues du monde de l'analyse mathématique des réseaux sociaux, les méthodes de *détection de communautés* sont devenues populaires au cours des 10 dernières années pour l'analyse de réseaux complexes [voir par exemple Ratti *et al.*, 2010 ; Fortunato, 2010]. Elles visent à trouver des partitions (structures composées de communautés) qui maximisent la densité des liens intra-groupes par rapport à la densité de liens

intergroupes, à trouver des sous-graphes denses dans des grands graphes. Résolues de façon exacte ou heuristiques, elles s'avèrent très efficaces et offrent une grande variété de méthodes permettant des liens pondérés, dirigés, des structures hiérarchique, voire le chevauchement des aires ainsi dessinées. Une méthode populaire pour découvrir les communautés consiste à calculer pour chaque partition un nombre (appelé *modularité* de la partition) qui quantifie la qualité du partitionnement, et à ensuite chercher la partition de modularité maximale [Newman et Girvan, 2004]. Calculer en peu de temps une partition de très bonne modularité, à défaut d'être maximale, peut se faire par exemple par la *Méthode de Louvain* [Blondel et al., 2008]. Cette méthode est une heuristique maximisant la modularité en deux étapes successives et itératives. Dans la première étape, la méthode groupe en communautés les nœuds ayant des échanges privilégiés et maximisant la modularité. Une fois tous les nœuds classés, la Méthode de Louvain passe à l'étape 2 où les nœuds de chaque communauté sont fusionnés en supra-nœuds ; ceux-ci représentent donc les communautés formées dans la première étape. Ensuite, la Méthode de Louvain recommence l'étape 1 et cherche à grouper les supra-nœuds, maximisant la modularité avant de repasser à l'étape 2. Les étapes 1 et 2 sont donc successivement appliquées tant que la Méthode de Louvain n'a pas approximé un maximum de modularité.

La *modularité* a comme principal inconvénient de détecter des communautés de tailles moyennes et homogènes entre elles (la somme des liens internes aux communautés). Ces tailles de communautés moyennes ne reflètent qu'une seule facette des échanges privilégiés des nœuds au sein d'un graphe. En effet, un graphe réel est une structure complexe composée de plusieurs niveaux de résolution : des petites communautés peuvent se retrouver emboîtées dans de plus grandes communautés. Dès lors, détecter des communautés de tailles moyennes à l'aide de la modularité sur un seul niveau n'a pas plus de sens que de détecter des communautés de petites tailles. Pour appréhender les différentes échelles de partitionnement d'un graphe, on modifie la notion de modularité telle qu'implémentée dans la Méthode de Louvain en introduisant un paramètre ρ , qui traduit l'ordre de grandeur de la taille des communautés recherchées : les petites valeurs de ρ favorisent une partition en de nombreuses communautés, les grandes valeurs tendent vers un petit nombre de communautés [Delvenne et al., 2013]. Nous renvoyons à deux autres articles pour l'analyse de la sensibilité des résultats à la valeur de ρ [Adam et al., 2017 et Thomas et al., 2017] et optons ici pour une valeur unitaire, soit la version standard de la Méthode de Louvain.

Les résultats sont illustrés sous forme de cartes pour lesquelles le choix des couleurs est arbitraire. Les traits simples correspondent aux communes tandis que les traits épais représentent les limites provinciales. Les très petites mailles ne comprenant pas assez d'observations sont laissées blanches. On sait que la Méthode de Louvain est sensible à l'ordre de lecture des nœuds ; pour éviter ce biais, elle est appliquée 1 000 fois consécutivement tout en modifiant aléatoirement l'ordre des nœuds entre chaque application, ce qui permet de mesurer ensuite la robustesse des résultats : le pourcentage de fois qu'un nœud appartient à la même communauté rend compte de la stabilité du résultat et de l'indépendance à l'ordre des lieux. Ce pourcentage est illustré par des *cartes choroplèthes* (cartes statistiques représentant des quantités relatives associées à des aires géographiques par le moyen d'une *échelle* de tons gradués / camaïeu) et/ou par un *hachurage* sur les cartes *chorochromatiques* (cartes colorées représentant une variable nominale, en l'occurrence l'appartenance à une

communauté). Nous avons également pointé sur certaines cartes les nœuds où se concentrent le plus de connexions et qui constituent en quelque sorte des *centralités* (points noirs sur la carte). Pour cela, nous avons pris le nombre de connexions pour chaque nœud belge et avons appliqué la méthode de Jenks² sur la distribution afin d'isoler les lieux les plus connectés. Chaque partition est accompagnée de statistiques simples tels le nombre de lieux composant chaque communauté et le pourcentage de lieux dont la classification sur les 1 000 applications n'est pas stable. Enfin, les ressemblances entre cartes sont ici quantifiées par l'IMN (Information Mutuelle Normalisée) qui mesure la quantité d'information contenue dans une carte et qui l'est aussi dans l'autre. Cet indice prend la valeur 0 quand deux cartes sont totalement différentes, et 1 si elles sont identiques [voir par exemple Fred et Jain 2003].

3. Résultats

Chaque matrice de données fait l'objet d'une sous-section, la première donnant plus de détails méthodologiques. Les commentaires cartographiques vont à l'essentiel, laissant au lecteur la liberté de regarder les détails parfois anecdotiques ; nous n'avons la prétention que de proposer quelques pistes de lecture.

3.1. Navettes de travail

Contrairement à l'attente, le *niveau d'agrégation spatiale* des données n'affecte ni le nombre optimal, ni la structure spatiale globale des communautés basées sur les déplacements quotidiens résidence-travail (figures 2 et 3). Les communautés calculées sur base des secteurs statistiques ont simplement des contours plus détaillés et de nombreux secteurs ne sont pas classés faute d'observation.

Quel que soit le niveau d'agrégation, deux *bassins* constitués de lieux *contigus* se dessinent : d'une part le *bassin d'emploi* de Bruxelles qui englobe la Région de Bruxelles Capitale, l'arrondissement de Halle-Vilvoorde et le Brabant wallon, et d'autre part le bassin de *Leuven* qui couvre l'arrondissement du même nom à l'exception - mais de façon non surprenante - de quelques communes limitrophes telles *Tervuren*, *Huldenberg* et *Kortenbergh* qui sont rattachées au bassin bruxellois. Il convient d'insister ici sur le fait que *Leuven* forme bien une *communauté* à part entière, non pas parce qu'il n'y a aucune relation entre ce *bassin* et celui centré sur Bruxelles, mais parce que les lieux qui le composent échangent plus de navetteurs entre eux qu'avec le reste des communes belges (cela n'empêche donc pas des échanges entre les communes rouges et orange sur les cartes des figures 2 et 3). La figure 4 illustre graphiquement les échanges entre les communautés. Par souci de lisibilité, les échanges entre les communautés 1 (Leuven) et 2 (Bruxelles) sont illustrés tandis que les échanges des autres communautés présentes en Belgique sont rassemblées dans un groupe virtuel nommé *a*. Ce graphe circulaire met clairement en évidence la manière dont la Méthode de Louvain classe les communes en communautés : les communautés ont des échanges internes importants et de faibles échanges vers l'extérieur.

Bien que la commune de Nivelles soit classée dans la communauté du Brabant, elle montre une certaine instabilité de classification qui se traduit par une tendance aux échanges partagés avec le bassin hennuyer (figure 2). Conformément à l'histoire de l'emploi et de l'infrastructure ferroviaire [voir Verhetsel *et al.*, 2009], le *bassin bruxellois*

est plus étendu dans sa partie Ouest et Sud-Ouest, franchissant largement les limites provinciales et régionales. Notons enfin, que les *limites provinciales* correspondent assez bien aux frontières des communautés confirmant Thomas *et al.* (2017) : même si ces limites sont discutées et tendent à être supprimées, elles apparaissent clairement dans le fonctionnement du marché du travail. Dans la même ligne d'idées, la frontière linguistique n'est pas perméable dans la partie Est de la zone d'étude, alors que de Rixensart/Overijse jusqu'à l'extrême ouest de la zone d'étude la frontière linguistique ne constitue pas du tout une barrière en termes de navettes de travail.

Figure 2. Communautés sur base des navettes de travail 2011 à l'échelle des secteurs statistiques

Figure 3. Communautés sur base des navettes de travail 2011 à l'échelle des communes

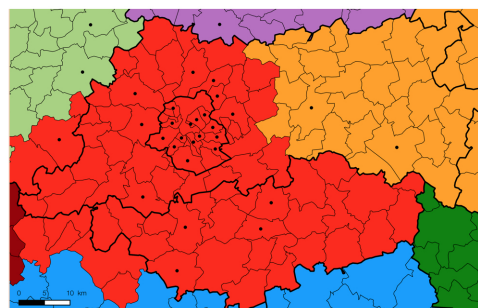
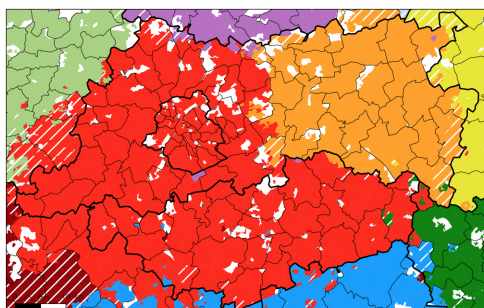
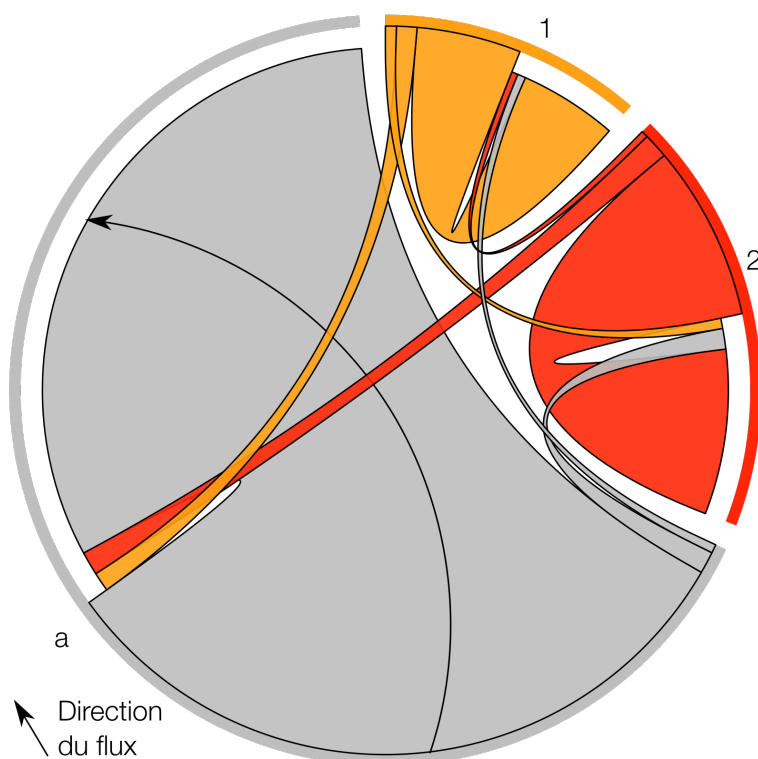


Figure 4. Flux de navettes entre les communautés 1 (Leuven), 2 (Bruxelles) et toutes les autres communautés belges (a)



Rappelons que chaque carte est le résultat de 1 000 applications de la méthode sur un même jeu de données et qu'il est donc possible d'associer à chaque lieu un degré de certitude de la classification (voir point 2). La figure 3 (ainsi que le Tableau 1 repris plus loin) révèlent que moins de 5 % des nœuds sont classés de façon incertaine ; ils se

situent principalement en bordure de province (*Londerzeel* et *Kapellen-op-den-Bos* au Nord, et *Nivelles* au Sud).

Qui dit bassin d'emploi, dit *centre d'emplois*. La Méthode de Louvain ne requiert aucune localisation centrale définie a priori : elle classe les individus dans une communauté sur base de l'intensité des liens qui les lient, et ce, indépendamment de la localisation. En d'autres termes, les *centres d'emploi* ne sont pas désignés a priori, et la notion de *bassin d'emplois* pourrait devenir discutable. Par contre le calcul des centralités a posteriori (voir point 3) met en évidence la plupart des communes de la Région de Bruxelles-Capitale et des communes contigües telles *Dilbeek*, *Asse*, *Grimbergen*, *Vilvoorde*, *Machelen* ou *Zaventem*, mais aussi des communes telles que *Halle* et *Leuven* ainsi que les pôles d'emplois du Brabant wallon (*Wavre*, *Ottignes-Louvain-la-Neuve*, *Braine-l'Alleud* et *Nivelles*).

En conclusion, cette nouvelle méthode d'analyse des mouvements de navettes permet de dire que le partitionnement en communautés conduit à des résultats robustes (peu de zones hachurées), que seuls deux ensembles (*bassins*) émergent de façon optimale, que la taille de la maille (secteurs statistiques, communes) modifie peu/pas l'allure générale de la partition et que les communautés sont constituées de lieux contigus (la distance impacte le comportement des navetteurs).

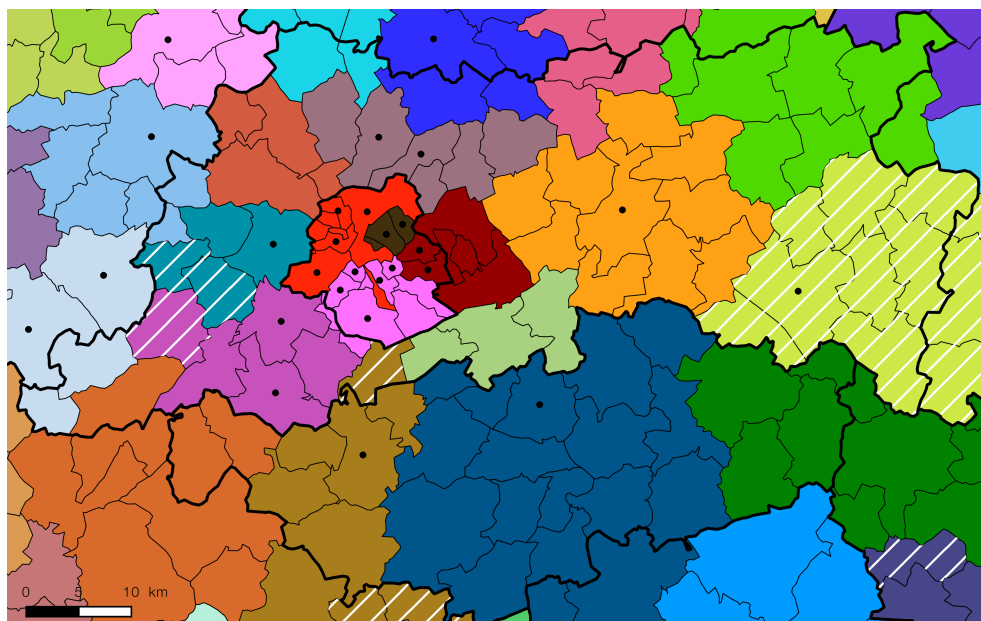
3.2. Migrations résidentielles (déménagements)

Migrations résidentielles, navettes de travail : deux types de mouvements de personnes entre lieux mais répondant à des mécanismes de choix spatiaux et des pratiques territoriales totalement différents. Il n'est donc pas surprenant que les partitions obtenues soient *différentes* (NMI migrations-navettes : 0,64). Les résultats de l'analyse sont résumés de façon cartographique en figure 5 : le morcellement du Brabant est beaucoup plus important (21 communautés, au lieu de 2 pour les navettes) et conduit à de petits ensembles de communes entre lesquelles les changements de résidence sont intenses. Autre donnée, autre partition donc, mais une constante : les groupes sont formés de communes contigües. Les communautés sont de très petite taille (de 2 à 16 communes) : les déménagements dans et autour de Bruxelles sont de *très courte distance*. Bien que des communautés chevauchent l'enveloppe extérieure de la Province de Brabant, seules deux communautés traversent la frontière linguistique : c'est ainsi que *Sint-Genesius-Rode/Rhode-Saint-Genèse* fait partie de la même communauté que *Braine-l'Alleud* et *Nivelles* avec certes un peu d'incertitude (hachures), et *Herne* fait partie de la communauté centrée sur *Soignies/Braine-le-Comte/Enghien*. La Région de Bruxelles-Capitale se divise en quatre communautés : (1) une partie nord-ouest, (2) une partie sud/sud-est qui englobe aussi *Linkebeek* et *Drogenbos*, (3) une petite communauté composée de *Saint-Josse-ten-Noode*, *Evere* et *Schaerbeek* et enfin (4) une communauté qui englobe les deux *Woluwe* et se poursuit vers *Tervuren* et *Zaventem* [Van Crielingen, 2006 ; De Maesschalck et al., 2015 ; Vandermotten et al., 2009].

En matière de déménagements, la distance, le territoire et la langue impactent plus fortement les choix spatiaux que les navettes. Les nœuds dont la classification est incertaine représentent 17 % du total, soit un pourcentage bien plus élevé que dans le cas des navettes (5 %). Cela veut donc dire que la partition est moins robuste que celle des navettes (hachures) et que les lieux se partagent entre plusieurs polarités. La géographie des déménagements ne peut donc être utilisée en lieu et place des navettes : il s'agit d'une tout autre spatialité (on choisit un emploi loin de chez soi, parmi

quelques pôles d'emplois, mais lorsqu'on déménage on cherche éventuellement à rester près des amis, école, loisirs, ...).

Figure 5. Découpage optimal en communautés, basé sur les données de migrations résidentielles en 2011



3.3. Appels téléphoniques

Le partitionnement en communautés de la matrice de flux de téléphonie mobile mesurés d'antenne à antenne est repris en figures 6 et 7. Rappelons ici que nous ne disposons que des appels pour lesquels au moins une des deux antennes se situe en Province de Brabant ; cela explique que nous avons choisi ici de ne pas cartographier ce qui se passe à l'extérieur de la province de Brabant. Pour rendre les cartes chorochromatiques comparables, des polygones de Thiessen ont été dessinés autour des antennes et classés en communautés (figure 6) ; ces données ont aussi été agrégées à l'échelle des communes et à nouveau partitionnées en communautés (figure 7).

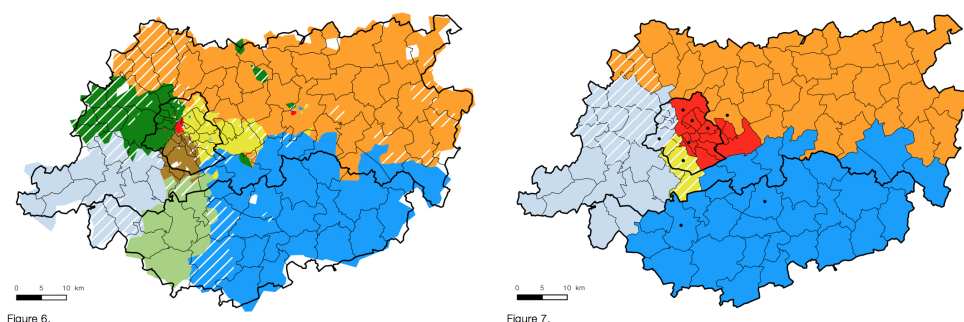
Conformément à des travaux antérieurs à l'échelle de la Belgique [Blondel *et al.*, 2010; Expert *et al.*, 2011], les zones de téléphonie mobile sont principalement constituées de lieux *contigus* : on appelle plus souvent des personnes qui sont proches dans l'espace. Contrairement au point 3.1. ci-dessus, *l'agrégation spatiale des données* affecte cette fois légèrement les résultats. Si l'allure générale est identique, le nombre optimal de communautés est légèrement plus grand pour les fines mailles (8 communautés en figure 6) que pour les grandes (5 communautés en figure 7). L'agrégation efface des détails spatiaux dans le cas des données téléphoniques : le CBD (Central Business District - cœur de Bruxelles) n'apparaît plus sur la carte agrégée (figure 7), la communauté Braine-l'Alleud/Nivelles s'efface et la partie ouest de la périphérie ne forme plus qu'une seule communauté. Agréger signifie perdre de l'information et cette perte impacte la partition spatiale alors qu'elle n'impactait pas les navettes confirmant ainsi d'autres travaux en cours [voir Decuyper *et al.*, 2017].

Les fines mailles (figure 5) conduisent à une structure urbaine dite « en secteurs » (modèle de Hoyt) : le CBD (en rouge) est tout petit mais regroupe 4,5 % du total des

appels : on s'y appelle souvent malgré la proximité. La Région de Bruxelles Capitale (hors CBD) est divisée en trois communautés (ouest, est et sud) qui se prolongent spatialement bien au-delà du périmètre de la Région, dans la même direction, certes parfois avec un peu plus d'incertitude lorsqu'on s'éloigne de Bruxelles (hachures). L'explication de cet allongement relève soit de caractéristiques socio-économiques différentes, soit du fait que la téléphonie mobile par définition peut se faire de tout endroit où se trouve une personne et n'implique pas obligatoirement un lieu de travail ou de résidence.

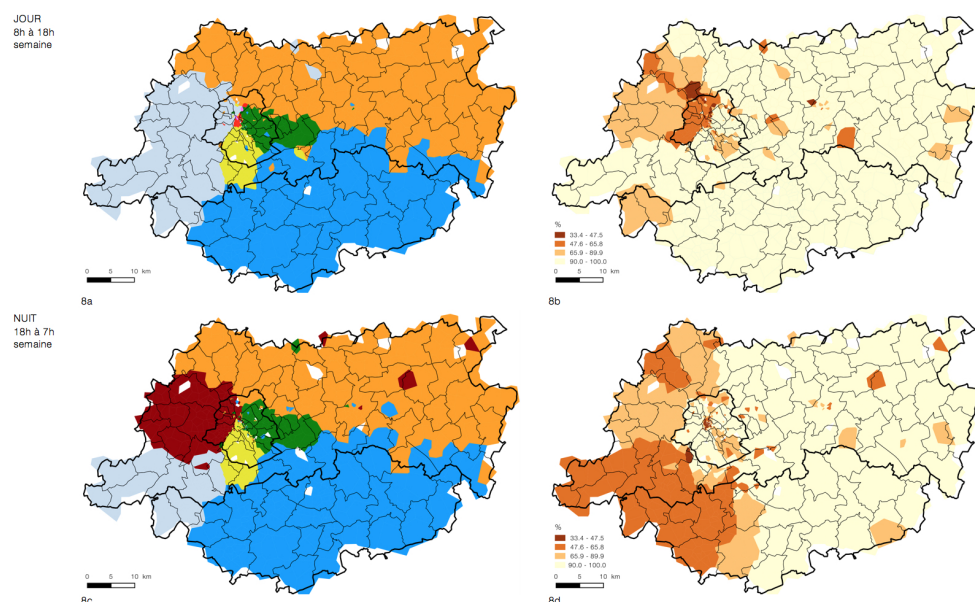
En matière de relations téléphoniques, les limites régionales (Bruxelles) et provinciales / linguistiques ne sont pas aussi bien respectées par le tracé des communautés que dans les cas des navettes et migrations. A titre d'exemple, notons que les communes d'*Overijse, Huldenberg, Oud-Heverlee* et la partie Sud des communes de *Bierbeek, Hoegaarden, Tienen* et *Landen* font partie de l'aire téléphonique du Brabant wallon Est : la frontière linguistique est donc bien plus perméable en matière de téléphonie, qu'en matière de migrations résidentielles ou pendulaires. *Tubize* et *Rebecq* (francophones) se rattachent également à la communauté téléphonique de *Halle* (néerlandophone). Notons enfin que la communauté de *Leuven* s'étale cette fois vers les communes du Nord de la province jusqu'à *Grimbergen*.

Figure 6. Bassins de téléphonie mobile à l'échelle des polygones de Thiessen autour des antennes
Figure 7. Bassins de téléphonie mobile pour des données agrégées à l'échelle des communes



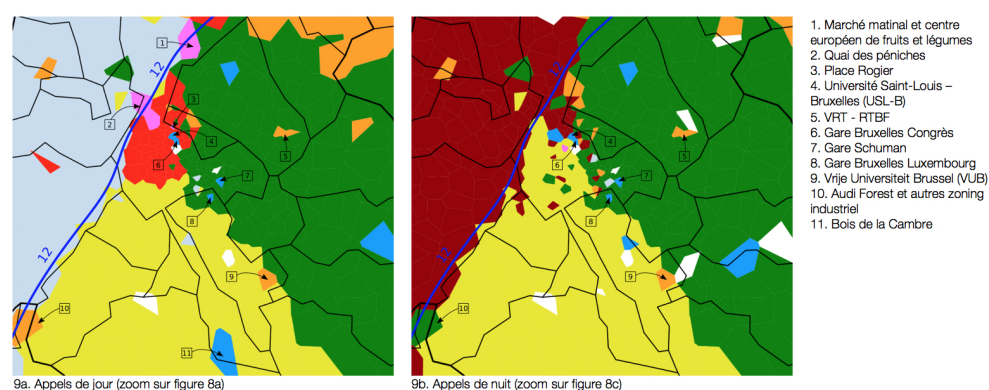
A côté de la localisation, nous disposons également du moment de chaque appel, rendant possibles des analyses spatio-temporelles. A titre d'exemple, la figure 8 illustre le partitionnement optimal en communautés en semaine pour une période dite « de jour » (figure 8a) et « de nuit » (figure 8c) à l'échelle des polygones de Thiessen dessinés autour des antennes. Les différences entre les deux cartes sont plus petites que celles attendues (NMI jour-nuit : 0,74) et se résument à l'effacement du CBD la nuit (bureaux vides, magasins fermés) et à un partitionnement de nuit de la zone ouest en deux communautés : une au Nord centrée sur *Asse* et *Dilbeek* (figure 8c, brun foncé) et une au Sud centrée sur *Halle* et *Tubize* (figure 8c, bleu pâle). Les figures 8b et 8d complètent cette géographie en illustrant la robustesse des découpages. La carte choroplèthe est ici privilégiée, car les polygones de Thiessen sont très petits rendant les hachures sur les cartes chorochromatiques illisibles. Les incertitudes les plus fortes se situent à l'ouest de la zone d'étude mais affectent aussi quelques lieux isolés répartis aléatoirement dans la zone d'étude.

Figure 8. Bassins de téléphonie mobile à l'échelle des polygones de Thiessen autour des antennes au cours du jour (8a) et de la nuit (8c) ainsi que l'incertitude des partitions (8b et 8d)



Enfin, la figure 9 propose un zoom sur la partie centrale de la figure 8a (jour) et un autre sur la figure 8c (nuit). Par facilité de lecture, quelques noms de lieux sont mentionnés comme repères. Certains polygones forment des îlots, classés dans une communauté *différente* de celle qui les entoure, rompant ainsi à cette échelle d'analyse avec la première loi de la géographie (Tobler) : chaque élément interagit davantage avec les éléments proches qu'avec les éléments éloignés, ce que nous observions clairement à l'échelle agrégée des communes. A titre d'exemple, les antennes couvrant les zones de la VUB ainsi que celles de la VRT sont classées dans la communauté de *Leuven*, alors que les antennes couvrant les gares du Luxembourg, Schuman ou Congrès sont classées dans la communauté du Brabant wallon. Ces structures sont détectées tant pour les appels effectués durant la journée (figure 9a) que la nuit (figure 9b).

Figure 9. Bassins de téléphonie mobile (zoom sur centre de Bruxelles)



Nous pouvons conclure ici qu'en matière de communautés téléphoniques, la ville déborde des limites de la Région de Bruxelles-Capitale et que la frontière linguistique n'est pas scrupuleusement respectée par les limites des communautés contrairement à ce qui avait été évoqué par Blondel *et al.* [2010] à l'échelle du pays. Ceci provient de la nature des données : Blondel *et al.* [2010] utilisaient les adresses de facturation, alors

qu'ici nous avons le lieu au moment de l'appel ; ajoutons qu'il s'agissait aussi de données d'un autre opérateur téléphonique et que 7 ans séparent les deux analyses.

En guise de conclusion, le tableau 1 synthétise les résultats obtenus pour chaque base de données en termes de nombre optimal de communautés (n) et en pourcentage (%) de lieux (nœuds) dont l'appartenance à un groupe n'est pas certaine. Ces quantités corroborent les commentaires de cartes : très petites communautés et donc nombreuses pour les déménagements et grandes incertitudes de classement pour les appels téléphoniques.

Tableau 1. Comparaison des partitions obtenues dans la Province de Brabant

	n	%
Figure 2 Navettes (secteurs stat.)	2	3,9
Figure 3 Navettes (communes)	2	4,5
Figure 5 Déménagements (communes)	21	16,6
Figure 6 Téléphones (antennes)	8	21,3
Figure 7 Téléphones (communes)	5	19,8
Figure 8a Téléphones (antennes - jour)	7	35,4
Figure 8c Téléphones (antennes - nuit)	7	40,0

(n : nombre optimal de communautés détectées ; % : pourcentage de lieux dont l'appartenance à une communauté n'est pas stable au cours de 1 000 traitements)

Conclusion

Détecter des communautés dans de (grandes) bases de données relationnelles est une approche récente dont les applications à une aire métropolitaine sont encore rares et balbutiantes [Zhong *et al.*, 2014]. Le cas de Bruxelles nous permet d'illustrer à l'aide de trois exemples de données le pouvoir structurant des interrelations entre lieux. Les cartographies proposées montrent des communautés de lieux ayant des relations intenses (w_{ij}) et permettent à la fois de délimiter l'espace bruxellois et de le partitionner. Elles illustrent la complexité de la réalité spatiale urbaine (bruxelloise), et rappellent comme il est important de maîtriser la nature de la variable utilisée avant de tirer des conclusions opérationnelles. Pour reprendre une à une les questions posées dans l'introduction :

1. Navettes, changements de résidence et flux téléphoniques sont les trois bases de données utilisées ici. Par leur définition, elles conduisent à des structures spatiales différentes (nombre, composition des communautés). La forme et le nombre de bassins dépend fortement des données utilisées. Peu surprenant en soi, ce fait vaut la peine d'être rappelé à un moment où on assiste de plus en plus à des modèles urbains de type *data crunching* suite aux masses de données disponibles. Lors de l'analyse de la carte, il importe de s'interroger sur la nature et les limites de données et des méthodes. Toutefois, les cartes nous renvoient

à des structures spatiales relativement fortes et souvent connues par ailleurs, comme si l'espace et particulièrement le réseau urbain avait atteint un certain « équilibre » [suggéré par Fujita et Thisse, 2013 mais aussi fortement discuté par Pumain, 2017].

2. Les communautés extraites mathématiquement sont en moyenne formées de *lieux contigus* alors que la géolocalisation (et donc la distance entre lieux) ne fait pas partie des entrants de la méthode utilisée (Méthode de Louvain). Ceci conforte l'idée que les relations sont plus intenses entre lieux proches conformément à Gaspar et Glaeser [1998], à Fujita et Thisse [2013, p. 191] ou encore en référence à la loi de Tobler (1970) bien connue des géographes (« Tout interagit avec tout, mais deux objets proches ont plus de chances de le faire que deux objets éloignés » [Sui, 2004]), voire aux modèles de type gravitaires tel celui de Reilly [1932].
3. Les communautés débordent des limites de la Région de Bruxelles-Capitale confirmant l'extension en tâche d'huile du territoire métropolitain [Thomas *et al.*, 2012]. Des *structures spatiales fortes* se dessinent à travers les trois bases de données : les communautés ancrées dans la Région de Bruxelles Capitale se prolongent vers la périphérie (hors RBC), Leuven s'avère être un bassin d'interaction à part entière, et à l'ouest de la zone étudiée une réalité spatiale axée sur *Asse* et *Halle* se dessine. Le Brabant wallon présente une géographie qui dépend fortement de la nature des interactions : il forme un tout en matière de navettes de travail et quatre bassins distincts en matière de téléphonie mobile (*Tubize*, *Braine-l'Alleud/Nivelles*, le tripôle *Wavre/Ottignies/ Louvain-la-Neuve* et *Jodoigne* à l'Est). Il y a donc des ensembles de lieux très stables et d'autres plus incertains, confortant certains résultats publiés pour d'autres villes [Lawlor *et al.*, 2012] et la multiplicité des facettes d'une ville.
4. Les communautés bruxelloises s'étalent au-delà des limites régionales, bousculant un peu le clivage politique en trois Régions. Il convient donc d'être très prudent et de maîtriser ces réalités à l'aide d'outils et de théories ad hoc, car comment mener une politique cohérente si les limites observées ne collent pas à celles de planification [confortant De Maesschalk *et al.*, 2015 ou Liu *et al.*, 2015 pour d'autres lieux et d'autres problématiques] ? On peut donc aussi s'interroger sur les conclusions des travaux limités à la Flandre ou à la Wallonie (avec ou sans Bruxelles). Par contre, et de façon plus surprenante, les limites *provinciales*, constituent souvent celles de communautés à l'heure où elles sont appelées à disparaître [Thomas *et al.*, 2017].
5. Les méthodes utilisées s'appliquent particulièrement aux *grandes bases de données*. On sait que les services publics et privés disposent aujourd'hui de sources inédites et géoréférencées de données inexploitées ; on ne peut donc qu'encourager celles-ci à se doter d'*observatoires* et d'*outils spécifiques* ou de rendre ces données accessibles car elles permettent d'analyser des réalités difficilement mesurables par ailleurs (par exemple la population de jour et de nuit via les appels téléphoniques). Elles constituent un réel potentiel pour comprendre les processus urbains et améliorer la planification et la gouvernance.

La Science des Données (*Data Science*) et les grandes bases de données (*big data*) constituent des outils nouveaux et utiles aux analystes urbains, mais il convient d'aller au-delà de l'émerveillement cartographique et technologique, et de bien comprendre ce qu'elles apportent de neuf dans la compréhension, la mesure et la modélisation de la complexité urbaine. C'est la discussion que nous avons essayé d'amorcer ici.

Annexe. Communes de l'ancienne province de Brabant



BIBLIOGRAPHIE

ADAM, A., DECUYPER, A., DELVENNE, J.-C., THOMAS, I., 2017. *On the robustness of the Louvain Method to detect communities: examples on Brussels* (soumis)

ANAS, A., ARNOTT, R., SMALL, K., 1998. Urban spatial structure. In : *Journal of Economic Literature*. vol. 36, n° 3, pp. 1426-1464

BLONDEL, V., GUILLAUME, J., LAMBIOTTE, R., LEFEBVRE, E., 2008. Fast unfolding of communities in large networks. In : *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*. 10/2008, vol. 2008, n° 10, P10008.

BLONDEL, V., KRINGS, G., THOMAS, I., 2010. Régions et frontières de téléphonie mobile en Belgique et dans l'aire métropolitaine bruxelloise, In : *Brussels Studies*. 10/2010, n° 42, 12 p. Disponible à l'adresse : <https://brussels.revues.org/799>

BOUSSAUW, K., ALLAERT, G., WITLOX, F., 2012. Colouring inside what lines? Interference of the urban growth boundary and the political-administrative border of Brussels. In : *European Planning Studies*. vol. 21, n° 10, pp. 1509-1527

DEBUSSCHERE, M., LUSYNE, P., DEWITTE P., BAEYENS, Y., DE MEERSMAN, F., SEYNAEVE, G., WIRTHMANN, A., DEMUNTER, C., REIS, F., REUTER, H., 2017. *Big data et statistiques : un recensement*

tous les quarts d'heure. Disponible à l'adresse : http://statbel.fgov.be/fr/binaries/analyse_bigdata_fr_tcm326-281473.pdf

DECUYPER, A., CLOQUET, C., THOMAS, I., DELVENNE, J.-C., 2017. *On the issue of aggregation for community detection in social networks* (to be submitted)

DELVENNE, J.-C., SCHAUB, M.T., YALIRAKI, S.N., BARAHONA, M., 2013. The stability of a graph partition: A dynamics-based framework for community detection. In : *Dynamics On and Of Complex Networks*, Vol. 2, pp. 221-242. Springer.

DE MAESSCHALK, F., DE RIJCK, T., HEYLEN, V., 2015. Au-delà de la frontière. Relations socio-spatiales entre Bruxelles et le Brabant Flamand. In : *Brussels Studies*, n° 84. Disponible à l'adresse : <https://brussels.revues.org/1259>

DOBRUSZKÈS, F., VANDERMOTTEN, C., 2006. Eléments pour une géographie des clivages philosophiques à Bruxelles. In : *L'Espace Géographique*, tome 35, pp. 31-43.

DUJARDIN, C., THOMAS, I., TULKENS, H., 2007. Quelles frontières pour Bruxelles ? Une mise à jour. In : *Reflets et Perspectives de la Vie Economique*, Tome XLVI -2007/2-3, pp. 155-176.

DURANTON, G., 2015. Delineating Metropolitan Areas: Measuring Spatial Labor Market Networks Through Commuting Patterns, In : T. WATANABE et al. (Eds.). *The Economics of Interfirm Networks, Advances in Japanese Business and Economics* 4, pp. 107-132.

EGGERICKX, T., HERMIA J.-P., SURKIJN, J., WILLAERT, D., 2012. Les migrations internes en Belgique. In : *Monographies Enquête Socio-économique 2001*, n° 2, Brussel, SPF Economie en Politique Scientifique Fédérale. 200 p.

EXPERT, P., EVANS, T., BLONDEL, V., LAMBIOTTE, R., 2011. Uncovering space-independent communities in spatial networks. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(19), 7663-7668.

FORTUNATO, S., 2010. Community detection in graphs. In : *Physics Reports*. 02/2010. vol. 486, n° 3-5, pp. 75-174.

FRED, A., JAIN, A., 2003. Robust data clustering. In : *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. vol. 2, pp. II-128.

FUJITA, M., THISSE, J.-F., 2013. *Economics of agglomeration. Cities, Industrial Location, and Globalization*. Cambridge University Press, 528 p.

GASPAR, J., GLAESER, E., 1998. Information technology and the future of cities. In : *Journal of Urban Economics*, vol. 43, n° 1, pp. 136-156.

IOANNIDES, Y., 2012. *From Neighborhoods to Nations: The Economics of Social Interactions*. Princeton University Press.

HAO, J., ZHY, J., ZHONG, R., 2015. The rise of big data on urban studies and planning practices in China: Review and open research issues. In : *Journal of Urban Management*, 12/2015, vol. 4, n° 2, pp. 92-124.

LAWLOR, A., COFFEY, C., MCGRATH, R., POZDNOUKHOV, A., 2012. *Stratification structure of urban habitats, Maynooth University reprint*. Disponible à l'adresse : eprintsprod.nuim.ie/3940/1/AP_stratified_habitats.pdf

LIU, X., GONG, L., GONG, Y., LIU, Y., 2015. Revealing travel patterns and city structure with taxi trip data, In : *Journal of Transport Geography*. 02/2015, vol. 43, pp. 78-90

NEWMAN, M. et GIRVAN, M., 2004. Detecting community structure in networks. In : *The European Physical Journal B*. 03/2004, vol. 38, nr. 2, pp. 321-330.

- PUMAIN, D., 2017. Geography far from equilibrium. In : JOHNSON, J. *et al.* (Eds), *Non-equilibrium social science and Policy*, Springer International, pp. 71-80
- RATTI, C., SOBOLEVSKY, S., CALABRESE, F., ANDRIS, C., READES, J., MARTINO, M., CLAXTON, R., STROGATZ, S., 2010. Redrawing the map of Great-Britain from a network of human interactions. In : *PlosOne*. 08/12/2010, vol. 5, n° 12, e14248 .
- SAGL, G., DELMELLE, E., DELMELLE, E., 2014. Mapping collective human activity in an urban environment based on mobile phone data. In : *Cartography and Geographic Information Science*. vol. 41, n° 3, pp. 272-285.
- SUI, D., 2004. Tobler's First Law of Geography: A Big Idea for a Small World? In : *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 94, n° 2, pp. 269-277.
- THOMAS, I., ADAM, A., VERHETSEL, A., 2017. Migration and commuting fields within Belgium: A new geography with a community detection algorithm. In : *e-Belgeo* (en révision)
- THOMAS, I., COTTEELS, C., JONES, J., PEETERS, D., 2012. Revisiting the extension of the Brussels urban agglomeration: new methods, new data... new results? In : *e-Belgeo* (en ligne). Disponible à l'adresse : <http://belgeo.revues.org/6074>
- THOMAS, I., VERHETSEL, A., LORANT, V., 2009. Le recensement de la population : un requiem ? In : *Regards Economiques*, n° 67, 8 p.
- TOBLER, W. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. In : *Economic Geography*, vol. 46, pp. 234-240.
- VAN CRIEKENGEN, M., 2006. Que deviennent les quartiers centraux à Bruxelles ? In : *Brussels Studies*, n° 1. Disponible à l'adresse : <http://brussels.revues.org/293>
- VANDERMOTTEN, C., 2016. Adéquations et inadéquations du découpage territorial aux contextes politiques et économiques. Le cas de la Belgique. In : *EchoGéo*, n° 35
- VANDERMOTTEN, C., LECLERCQ, E., CASSIERS, T., WAYENS, B., 2009. L'économie bruxelloise. In : *Brussels Studies*, Notes de synthèse. Disponible à l'adresse : <http://brussels.revues.org/934>
- VAN HAMME, G., GRIPPA, T., VAN CRIEKENGEN, M., 2016. Mouvements migratoires et dynamiques des quartiers à Bruxelles. In : *Brussels Studies*, n° 97. Disponible à l'adresse : <http://brussels.revues.org/1331>
- VAN HECKE, E., HALLEUX, J.-M., DECROLY, J.-M., MÉRENNE-SCHOUMAKER, B., 2007. Noyaux d'habitat et régions urbaines dans une Belgique urbanisée. In : *Monographies Enquête Socio-économique*, 2001, n° 9, Bruxelles, SPF Economie en Politique Scientifique Fédérale. 201 p.
- VERHETSEL, A., VAN HECKE, E., THOMAS, I., BEELEN, M., HALLEUX, J., LAMBOTTE, J., RIXHON, G., MÉRENNE-SHOUMACKER, B., 2009. Le mouvement pendulaire en Belgique. Les déplacements domicile-lieu de travail. Les déplacements domicile-école. In : *Monographies Enquête Socio-économique 2001*, n° 10, Brussel, SPF Economie en Politique Scientifique Fédérale, 217 p.
- ZANDBERGEN, P., 2009. Accuracy of iPhone Locations: A comparison of assisted GPS, WiFi and cellular positioning. In : *Transactions in GIS*, n° 3, pp. 5-25.
- ZHONG, C., ARISONA, S., HUANG, X., BATTY, M., SCHMITT, G., 2014. Detecting the dynamics of urban structure through spatial network analysis. In : *International Journal of Geographical Information Science*, 2178-2199.

NOTES

1. Le polygone de Thiessen centré sur une antenne donnée est constitué des endroits plus proches de cette antenne que des autres antennes.
 2. La méthode de Jenks est une méthode de discrétisation qui minimise la variance intraclasse et maximise la variance interclasse.
-

RÉSUMÉS

A l'aide de données relationnelles conventionnelles (migrations résidentielles, navettes de travail) et moins conventionnelles (appels de téléphonie mobile), l'espace dans et autour de la Région de Bruxelles-Capitale est partitionné en groupes de lieux fortement inter-reliés à l'aide d'une méthode mathématique de détection de communautés. Les partitions obtenues conduisent à des structures spatiales fortes alors que ni la distance ni les caractéristiques des lieux ne sont prises en compte par la méthode. Cet article illustre comme les grandes bases de données (*big data*) et leurs méthodes spécialement dédiées offrent de nouvelles opportunités pour les analyses urbaines (délimitation des bordures urbaines, formalisation des structures intra-urbaines) et donnent ici l'occasion de rappeler qu'aucune structure ne peut s'interpréter sans la maîtrise des données, des outils utilisés mais aussi des théories régionales et urbaines.

Aan de hand van conventionele (woonmigraties en woon-werkverplaatsingen) en minder conventionele (mobiele telefoongesprekken) relationele gegevens wordt de ruimte in en rond het Brussels Hoofdstedelijk Gewest opgedeeld in groepen van plaatsen, die nauw met elkaar verbonden zijn, op basis van een wiskundige methode voor de detectie van gemeenschappen. De verkregen indelingen (partities) leiden tot sterke ruimtelijke structuren, hoewel de methode geen rekening houdt met de afstand en de karakteristieken van de plaatsen. Dit artikel licht toe dat de grote databanken (*big data*) en hun speciaal daarvoor bestemde methodes nieuwe mogelijkheden voor stadsanalyses (afbakening van de stadsranden en formalisering van de intrastedelijke structuren) aanreiken en een kans bieden om eraan te herinneren dat geen enkele structuur geïnterpreteerd kan worden zonder de gegevens, gebruikte instrumenten maar ook de regionale en stedelijke theorieën te kennen.

Using conventional relational data (residential migrations, commutes to and from the workplace) and less conventional relational data (mobile telephony calls), the space in and around the Brussels-Capital Region is partitioned into groups of closely inter-related places using a mathematical community detection method. The partitions obtained lead to strong spatial structures, while neither the distance nor the characteristics of the places are taken into account in this method. This article illustrates how large databases (*big data*) and their specific methods provide new opportunities for urban analyses (delimitation of urban borders, formalisation of intra-urban structures), and remind us here that no structure may be interpreted without a thorough understanding of data, the tools used and regional and urban theories.

INDEX

Mots-clés : aire métropolitaine, développement territorial

Trefwoorden grootstedelijk gebied, territoriale ontwikkeling

Keywords : metropolitan area, territorial development

Thèmes : 7. aménagement du territoire – logement – mobilité

AUTEURS

ARNAUD ADAM

Arnaud Adam possède une maîtrise en géographie et effectue actuellement son doctorat à l'Université catholique de Louvain (C.O.R.E. - *Center of Operation Research and Econometrics*). A l'aide des *big-Data* et de l'utilisation de nouvelles méthodologies, il analyse les relations de l'homme dans son environnement tout en portant une attention particulière sur l'aire métropolitaine bruxelloise.

a.adam[at]uclouvain.be

JEAN-CHARLES DELVENNE

Jean-Charles Delvenne est professeur de mathématiques appliquées à l'Université catholique de Louvain (C.O.R.E. - *Center of Operation Research and Econometrics* et I.C.T.E.A.M. - *Institute of Information and Communication Technologies, Electronics and Applied Mathematics*) et s'intéresse en particulier à la fouille de données et la modélisation de dynamiques sur les grands graphes sociaux, géographiques, biologiques ou technologiques.

jean-charles.delvenne[at]uclouvain.be

ISABELLE THOMAS

Isabelle Thomas est géographe, directrice de recherches au FRS-FNRS et professeure extraordinaire à l'Université catholique de Louvain (C.O.R.E. - *Center of Operation Research and Econometrics*). Elle s'intéresse particulièrement à la localisation des activités humaines, avec un intérêt tout particulier pour les outils statistiques, cartographiques et à la modélisation quantitative.

isabelle.thomas[at]uclouvain.be